

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

## STUDIE ZAŘÍZENÍ S MODELÁŘSKÝMI RC SERVY

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

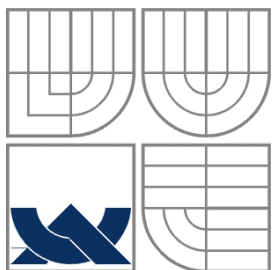
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

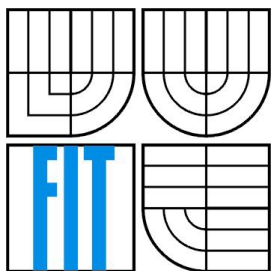
AUTHOR

Pavel Dvořák

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ**  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

## **STUDIE ZAŘÍZENÍ S MODELÁŘSKÝMI RC SERVY**

STUDY OF SYSTEM WITH RC MODEL SERVOS

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Pavel Dvořák

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Prof. Dr. Ing. Pavel Zemčík

BRNO 2014

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumat jak fungují modelářská serva a jak je možné je ovládat pomocí počítače. V práci byl vytvořen pohyblivý stojánek pro kameru nebo fotoaparát, určený k zabudování do modelu letadla. K řízení serv je využita deska Arduino.

## **Abstract**

The goal of this bachelor's thesis was to investigate how works modeller servos and how they can be controlled by a computer. In this thesis was created movable stand for camera, intended for installation in aircraft model. The servos are controlled by Arduino board.

## **Klíčová slova**

servo, Arduino, RC model, letecké záběry, fotoaparát, kamera

## **Keywords**

servo, Arduino, RC model, aerial shots, camera

## **Citace**

Pavel Dvořák: Studie zařízení s modelářskými RC servy, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2014

# Studie zařízení s modelářskými RC servy

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Prof. Dr. Ing. Pavla Zemčíka.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Pavel Dvořák  
19.5.2014

## Poděkování

Chci poděkovat vedoucímu této práce Prof. Dr. Ing. Pavlu Zemčíkovi za poskytnutí užitečných rad a pomoci při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu ve studiu a tvorbě této bakalářské práce.

©Pavel Dvořák, 2014

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*



# Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	2
2 Shrnutí dosavadního stavu.....	3
2.1 Modelářská serva a jejich řízení.....	3
2.2 Modely letadel.....	9
2.3 Modelářská RC elektronika.....	11
2.4 Deska Arduino Uno R3.....	14
2.5 Prostředky pro upevnění kamery na RC model s možností ovládání náklonu.....	18
3 Zhodnocení současného stavu a plán práce.....	21
3.1 Existující řešení.....	21
3.2 Požadavky na vlastní zařízení.....	22
4 Popis práce a jejích výsledků.....	23
4.1 Konstrukce mechaniky.....	23
4.2 Zapojení elektroniky.....	26
4.3 Implementace softwaru.....	27
4.4 Testování a zhodnocení výsledku.....	29
5 Závěr.....	31
Literatura.....	32
Seznam příloh.....	33

# 1 Úvod

V současné době se letecké modelářství stává stále více oblíbeným koníčkem. K pořízení vlastního malého létajícího stroje už dávno nepotřebujete mít speciální technické vědomosti a rozvinutou manuální zručnost. Dnes už si můžete za rozumnou cenu pořídit kompletní již sestavené a k letu připravené letadlo. Dalším rychle se rozvíjícím oborem jsou digitální kamery a fotoaparáty, které mají čím dál menší rozměry a čím dál lepší parametry výsledného videa nebo fotografie. Někteří modeláři tudíž začínají experimentovat s možností natáčení leteckých záběrů z dálkově ovládaných modelů. Navíc se do oblasti modelářství dostává i téma počítačů, protože mnoho moderních palubních elektronických zařízení je obsahuje nebo se pomocí osobního počítače nastavují. Tímto se dostáváme k hlavnímu tématu této práce, ve které se všechny tři zmíněné oblasti (fotoaparáty a kamery, modely a počítače) prolínají.

Hlavním prvkem práce, jak již plyne z názvu, jsou modelářské servo. Jedná se o zařízení, které je využíváno k ovládání pohyblivých částí dálkově řízených modelů. Dočtete se zde o tom, jak vlastně serva fungují, z jakých částí se skládají a jaké jsou jejich vlastnosti. Hlavní částí této práce je návrh a vytvoření vlastního zařízení, ve kterém jsou modelářská serva využita. Zde jsem si zvolil zkonstruování pohyblivého závěsu pro kameru či fotoaparát. Toto zařízení je určeno pro instalaci do RC modelu letadla pro natáčení videa nebo fotografování za letu.

Lze díky němu pořizovat letecké záběry bez nutnosti hrazení velkých nákladů na provoz skutečného letadla. Dalším využitím je upevnění FPV kamery na tento držák a jeho instalace tak, aby objektiv mířil ve směru letu. Poté je možno model ovládat z pohledu pilota, a to včetně natáčení „hlavy“ při zatáčení či náklonu, jak je tomu ve skutečnosti. To klasické FPV soupravy neumožňují.

Podobná zařízení v současnosti již existují pro multikoptéry. Využívají se například k natáčení různých budov či přírody, a to nejenom amatéry, ale i profesionálními kameramany. Pro modely letadel jsem zatím ale nic vhodného nenašel. Většinou se jednalo pouze statická zařízení, schopná pořizovat ne příliš kvalitní záběry v poměrně malém rozlišení.

Toto téma bakalářské práce jsem si vybral, protože se již od dětství věnuji leteckému modelářství a hlavně motorovým RC modelům. Proto mne toto zadání velice zaujalo. Mohl jsem zde také využít své znalosti z této oblasti a velkého množství modelářského vybavení, které se mi doma za dobu co se letadlům věnuji nashromáždilo.

Zadáním této práce bylo prostudovat jak serva fungují a jak je možné je ovládat jak pomocí modelářské RC soupravy tak osobním počítačem. Dále bylo třeba navrhnout a sestavit jednoduchý strojek, ve kterém by byla serva využita. Toto zařízení poté otestovat a zamyslet se nad tím, jak by se dalo ještě vylepšit a jak by mohl pokračovat jeho vývoj.

Hlavní část textu je rozdělena do tří částí. První se věnuje bližšímu zasnícení čtenáře do tématu modelářských serv, RC modelů, modelářské elektroniky a vývojové desky Arduino, která je použita při tvorbě vlastního zařízení. Na konci této kapitoly také naleznete informace ohledně již existujících zařízení pro pořizování leteckých záběrů z rádiem řízených modelů. Druhá část textu obsahuje zhodnocení výhod a nevýhod již existujících zařízení, podobných tomu co jsem sestavoval. Dozvíte se zde také o požadavcích na vytvářené zařízení, daných jeho předpokládaným použitím a vyplývajících ze zadání. Třetí část se již věnuje tvorbě zmíněného závěsu pro kameru. Dočtete se zde o implementaci, struktuře a použití programů pro řídicí desku a osobní počítač. Dále je zde také popsáno zapojení elektroniky, která pohybuje zařízením a konstrukce mechaniky závěsu. V závěru této kapitoly je popsáno testování splnění požadavků na výsledné zařízení, uvedených v předchozí kapitole a možnosti dalšího vylepšení nebo rozšíření závěsu.

## 2 Shrnutí dosavadního stavu

Tato kapitola obsahuje bližší informace k tématům blíže souvisejícím s touto prací. Dočtete se zde o modelářských servech (jak fungují, z jakých částí se skládají a jak je možné je řídit), o modelech letadel, modelářském RC vybavení, vývojové desce Arduino a již existujících zařízeních pro upevnění fotoaparátu na model.

Nejsou zde uvedeny veškeré informace z daných odvětví, ale jenom ty, které blíže souvisí s tématem této práce a slouží k snazšímu pochopení zbylého textu.

### 2.1 Modelářská serva a jejich řízení

Modelářské servo je zařízení, které zpracovává digitální signál na jedné z žil jeho vstupního kabelu a převádí ho na mechanický pohyb (otáčení výstupního hřídele, na kterém je nasazena páka serva). Využívá se v RC modelech k ovládání jeho pohyblivých částí. Dále se také modelářská serva využívají v robotice. Existuje jich mnoho různých druhů, lišících se velikostí, výkonem, konstrukcí či použitím. K tomuto se více dozvíte v kapitole *Základní vlastnosti serv*. Informace o tomto druhu elektronických zařízení byly posbírány z těchto zdrojů [3][4][8][9][12][13][16][19][20].

Serva během jejich historie prodělala velký vývoj. První serva byla pomalá, slabá, nepřesná a poměrně drahá na tehdejší dobu. Dnešní serva jsou velice rychlá, přesná a mají dobrý poměr ceny a výkonu.



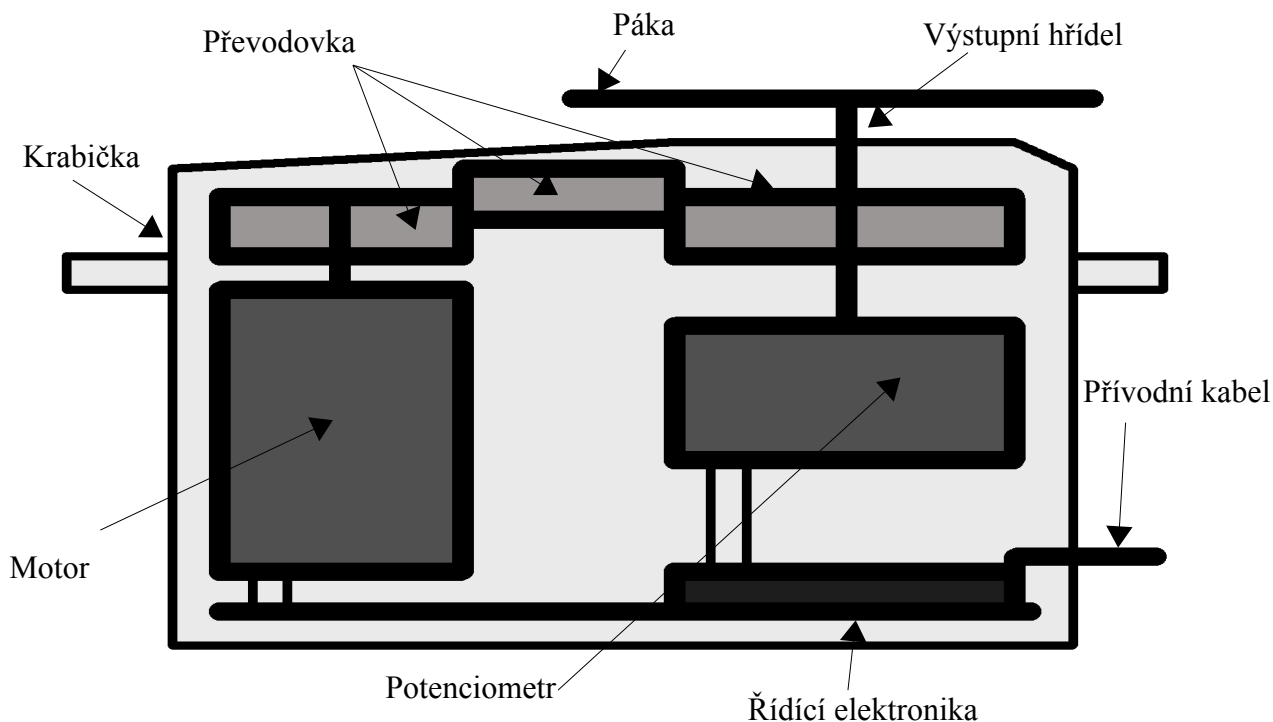
Obr. 2.1: Servo Hitec HS-311 [20]



Obr. 2.2: Servo Hitec HS-7956SHR [20]

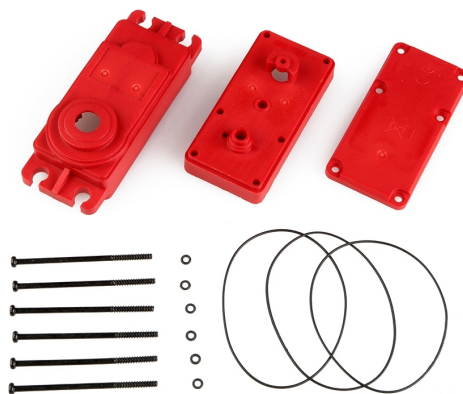
### Konstrukce serva

V této kapitole postupně projdu jednotlivé části serva a o každé se trochu rozepíši. Základními prvky serva jsou servomotor s převodovkou, řídicí elektronika a zpětnovazební potenciometr, který slouží ke zjištění informace o aktuálním natočení výstupního hřídele. Dalšími částmi serva je krabíčka, která tvoří obal, přívodní kabel, již zmíněná výstupní hřídel a páka [3]. O funkci a stavbě těchto součástí a materiálech používaných k jejich výrobě se dočtete níže.



Obr. 2.3: Schéma modelářského serva

#### Krabička



Obr. 2.4: Krabička serva Rhino digi 4 [20]

Jak jsem již zmínil, krabička slouží jako obal serva a je v ní uložena většina ostatních součástek. Její další důležitou funkcí je také využití k upevňování serva do jeho lože v modelu. Musí být konstruována a vyrobena tak, aby z lože přenášela pokud možno co nejméně vibrace. Zejména modely poháněné spalovacími motory jsou totiž při provozu vystavovány silným vibracím, které by mohly snížit životnost serva. Dále krabička nesmí zabraňovat dobrému chlazení serva a nejlépe by měla tomuto procesu napomáhat, protože zejména moderní vysoce výkonná serva, určená do obřích modelů, vyvíjejí značné množství tepla. Někdy je také vyžadována vodotěsnost či prachotěsnost serva. Je tomu tak hlavně u modelů aut nebo lodí [3][4][8][9][13].

## **Motor**

Pro pohon modelářských serv se používají tři základní typy motorů, a to stejnosměrné, střídavé a coreless motory.

Stejnosměrné motory jsou původní a dosud nejvíce používanou pohonnou jednotkou serv. Mají většinou tři nebo pět vinutí (pólů). Mezi jejich výhody patří nízká cena a vysoká odolnost, ale jsou oproti dalším dvěma typům pomalejší.

Druhým typem pohonných motorů jsou coreless motory. Jak již název napovídá, tento typ nemá klasické ocelové jádro jako stejnosměrný motor, ale má pouze lehké převážně plastové jádro, na kterém jsou jednotlivá vinutí (póly). Z toho důvodu, jsou tyto pohonné jednotky rychlejší, protože lehké plastové jádro se dá mnohem rychleji roztočit nebo zastavit oproti klasickému ocelovému. Nevýhodou těchto motorů, je jejich vyšší cena. Používají se ale čím dál častěji.

Třetím a posledním typem je střídavý motor. Oproti stejnosměrným motorům mají větší životnost, protože nemají žádné kartáče, pro přepínání okruhů vinutí, ale pouze otočný rotor. Přívod napětí je napojen napevno na stator. Tyto pohonné jednotky jsou rychlé, ale poměrně drahé. Z toho důvodu se zatím používají pouze zřídka, a to v silných, rychlých a poměrně drahých servech [3][9][12].

## **Řídicí elektronika**

Jedná se o elektroniku, která zpracovává signál na přívodním kabelu a ovládá motor serva. Je k ní také připojený zpětnovazební potenciometr, pomocí kterého získává informaci o aktuálním pootočení výstupního hřídele. V současné době se používají dva základní typy řídicí elektroniky, a to původní analogová a moderní digitální [3].

### Analogová řídicí elektronika

Při každém příchodu signálu analogová řídicí elektronika zkontroluje, jestli je výstupní hřídel ve správné poloze. Pokud není, vyšle do motoru impuls, aby se pootočil ve správném směru. Tím pádem není motor serva neustále v pohybu, ale pootáčí se po krátkých úsecích (pouze při příchodu signálu do serva).

Nevýhodou tohoto typu řídicí elektroniky je právě to, že motor není neustále v provozu a tím není plně využit jeho krouticí moment a rychlost. Při pootočení o malý úhel, také vzniká problém, že se krouticí moment snižuje a servo je tudíž slabší [3][20].

### Digitální řídicí elektronika

Serva s tímto typem elektroniky jsou mnohem rychlejší, přesnější a silnější. Další výhodou je, že má servo vlastní paměť a tím pádem v sobě může mít uložené nastavení výchylek, rychlosti, směru otáčení a podobně. Tato data se dají pomocí speciálního programátoru nastavovat.

Při ovládání motoru využívá řídicí elektronika toho, že si dokáže pamatovat signál, který naposledy přišel do serva. Díky tomu dokáže motor ovládat i v době mezi příchody signálů. Tím má motor plynulý chod a pohybuje se neustále. Díky tomu je využito jeho plného výkonu a rychlosti a tím pádem odpadají problémy zmíněné u analogových serv [12][20].

## **Přívodní kabel**

Přívodní kabel slouží k napájení serva a doručení řídicího signálu do něj. U silných serv bývá kroucený, aby se potlačilo rušení při průchodu velkého proudu kabelem [20].



#### **Barevné označení žil:**

- Řídící signál - žlutá, oranžová nebo bílá
- Kladný pól napájení - červená
- Záporný pól napájení - hnědá nebo černá

*Obr. 2.5: Přívodní kabel [20]*

#### **Potenciometr**

Potenciometr, je připojený k řídicí elektronice serva a slouží ke zjišťování aktuálního pootočení výstupního hřídele. U malých serv bývá připojen přímo na výstupní hřídel. Problém tohoto uspořádání je, že se z hřídele na potenciometr přenáší vibrace a servo je méně přesné a rychleji se opotřebovává. U větších serv je zpětnovazební potenciometr připojen přes zvláštní převod. Ten ho chrání před již zmíněnými vibracemi [3][16].

#### **Převodovka**



*Obr. 2.6: Sada kovových převodů [20]*

Jedná se o sadu ozubených kol, která je vestavěna mezi motor serva a výstupní hřídel. Určuje poměr mezi rychlostí a tahem. Převodovka má velký vliv na výslednou přesnost a robustnost serva [9].

#### **Výstupní hřídel**

Výstupní hřídel slouží k přenosu síly z převodovky na páku serva. Její uložení v krabici má stejně jako převodovka velký vliv na přesnost a robustnost serva [9].

#### **Páka**



*Obr. 2.7: Duralová páka serva Hitec HS-805*  
[20]

Nasazuje se na výstupní hřídel a slouží k přenášení síly ze serva na zařízení, kterým má pohybovat. Existuje jich mnoho různých tvarů a velikostí, podle toho k čemu jsou určeny [20].

## **Základní vlastnosti serv**

V této kapitole se podíváme na základní vlastnosti serv, které u nich prodejci a výrobci udávají, a pomocí kterých lze vybrat odpovídající servo pro dané použití.

### **Napájecí napětí**

Udává rozsah napájecího napětí na přívodním kabelu serva, při kterém je schopno pracovat.

Existují dvě základní rozmezí. Pro napájení čtyřmi nebo pěti články NiMh nebo NiCd mají rozsah napětí 4,5V až 6V a pro serva napájená dvěma LiPol nebo LiIon články 6V až 7,4V. Dříve se serva s vyšším rozsahem nepoužívala, ale v současné době, kdy se jako palubní zdroje napětí v modelech používají stále více LiPol akumulátory, serv s vyšším rozsahem přibývá [19][20].

### **Rychlost**

Tento parametr udává dobu, za kterou se výstupní hřídel serva pootočí o daný úhel. Tento úhel bývá buď čtyřicet pět stupňů (pak je jednotka – s/45°) nebo častěji šedesát stupňů (jednotka je potom – s/60°). Udávají se dvě hodnoty tohoto parametru pro krajní hodnoty napájecího napětí, a to pro serva s nízkým rozsahem napájecího napětí při 4,8V a 6V a pro serva s vysokým napájecím napětím při 6V a 7,4V.

Hodnoty se pohybují u pomalejších serv v řádu desetin sekundy na šedesát stupňů a v řádu setin sekundy na šedesát stupňů u těch nejrychlejších [19][20].

### **Síla tahu (moment)**

Je to síla, kterou je servo schopno vyvinout na páce určité délky. Tato délka bývá nejčastěji jeden centimetr. Jednotka potom bývá kilogram na centimetr (kg/cm) případně newton na centimetr (N/cm). Tato hodnota se stejně jako u rychlosti udává pro obě krajní hodnoty rozsahu napájecího napětí.

Hodnoty se pohybují od desetin kilogramů u těch nejslabších serv až po desítky kilogramů u extrémně silných serv, určených do obřích modelů. Například maxi servo s nestandardním napájecím napětím HS-1000SGS od firmy Hitec má sílu 84kg/cm při 11,1V a 110kg/cm při 14,8V [19][20].

### **Typ převodů**

Udává materiál z jakého je převodovka vyrobena. U jednotlivých serv je totiž kladen důraz na různé vlastnosti převodovky. Silná serva například potřebují převody pevné a malá serva pro změnu co nejlépejší.

Serva s plastovými převody patří mezi ty levnější. Nejsou tak výkonná a mají méně přesný chod. Další používaný materiál je karbonit. Tato serva už jsou dražší a mají lepší parametry. Pokud potřebujeme servo s přesným pohybem, odolnými převody, které dokážou přenášet i poměrně velké

síly, musíme volit převodovku kovovou. Z nich mezi ty nejlepší patří titanové. Občas se objevují i uhlíkové převody [19][20].

### **Uložení výstupního hřídele**

Výstupní hřídel serva může být uložen v plastovém pouzdře. Dochází zde ale k většímu tření a opotřebení, čímž se samozřejmě zkracuje životnost. Toto řešení se používá u levnějších serv menších rozměrů a výkonu. Mnohem lepším řešením je uložení hřídele do kuličkových ložisek. Zde už je tření malé a životnost serva se výrazně prodlouží. Používá se buď jedno nebo dvě ložiska [19][20].

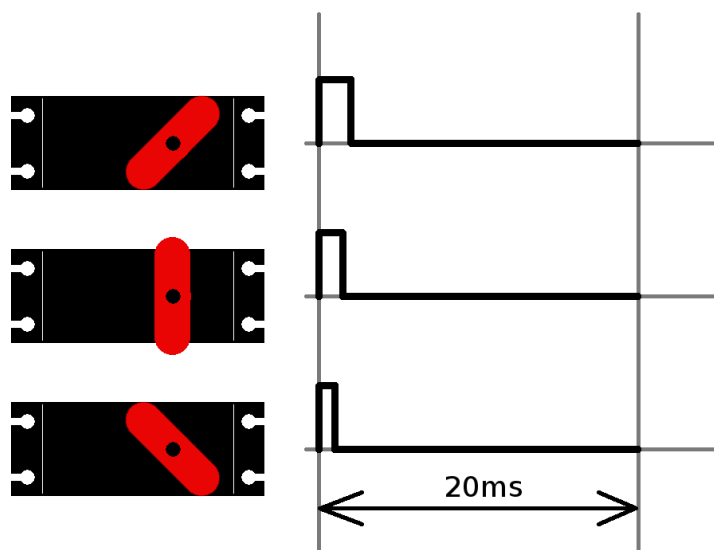
### **Rozměry**

Podle tohoto parametru výrobci nejčastěji serva dělí do kategorií. Rozměry se udávají jako velikost krabičky bez montážních patek a výstupního hřídele.

Nejmenší serva mají i méně než 20x20x10 milimetrů. Ta největší přesahují rozměry 70x60x30 milimetrů [19][20].

### **Řízení serv**

Pro řízení serva se používá šířkově modulovaný signál (PWM), přiváděný po jedné z žil přívodního kabelu. Perioda signálu je 20ms, což znamená, že frekvence je 50Hz. Šířka pulzu udává výchylku serva. Rozsah se může u různých typů serv o trochu lišit, ale nejčastěji se pohybuje od 1 do 2ms. Tyto hodnoty odpovídají krajním polohám natočení výstupního hřídele. Někdy však tyto výchylky bývají na převodovce mechanicky omezené. Středová poloha výstupní hřídele většinou odpovídá délce pulzu 1,5ms [3].



*Obr. 2.8: Znárodnění řídícího signálu serva*

K řízení serv je primárně určena modelářská RC souprava. Jejímí základními dvěma prvky jsou vysílač, označovaný Tx a přijímač, značený Rx.

## **2.2 Modely letadel**

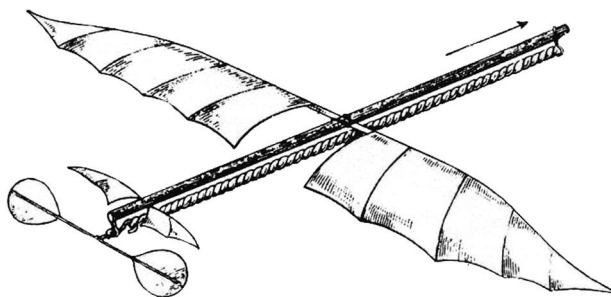
Stavba a provoz modelů letadel je čím dál tím více oblíbený koníček. V dnešní době, kdy existuje mnoho firem vyrábějících tyto modely, už není nutností si letadlo postavit svépomocí. Díky



tomu se k létání s modely mohou dostat i lidé s menší manuální zručností nebo s nedostatkem volného času. V modelech se také začínají používat i různá zařízení, jako třeba zařízení pro záznam obrazu nebo přenos obrazu k pilotovi v reálném řase (FPV), díky čemuž může letadlo řídit pohledem z kabiny.

Informace pro tuto kapitolu byly nashromážděny z [1][2][4][5][6][9][11][16].

## Počátky modelářství



*Obr. 2.9: Model s gumovým pohonem Alphonse Pénauda, Zdroj: <http://www.ctie.monash.edu.au>*

Někteří historikové uvádějí, že již ve starověkém Egyptě existovaly jednoduché hračky schopné klouzavého letu. Ty vzdáleně připomínaly dnešní kluzáky. S modely letadel a vrtulníků podle dochovaných výkresů také experimentoval Leonardo da Vinci. Prvním historicky doloženým strojem schopným stabilního motorového letu byl model s gumovým pohonem (kroucený svazek gumy) Alphonse Pénauda. Ten svůj model představil v roce 1874, což je mnohem dříve, než vzletlo první skutečné letadlo [1].

## Druhy modelů

Modely letadel se dělí do tří základních kategorií. Jsou to volné modely, upoutané modely a RC modely. Z toho řízeného letu jsou schopné pouze poslední dvě.

Do kategorie volných modelů patří například neřízené kluzáky nebo modely poháněné gumovým svazkem.

Upoutané modely jsou kategorie, která se začíná postupně vytrácet. Jsou to letadla poháněná motorem, která jsou upoutaná na lankách, pomocí kterých se řídí. Model tedy krouží kolem pilota a je možné u něj řídit pouze výšku letu.

RC modely mohou být jakékoliv kategorie letadel (kluzák, akrobatické letadlo, ...) řízená pomocí RC soupravy [2].

## Konstrukce modelu

Při stavbě modelů se využívá velké množství technologií a materiálů. Mezi ty původní patří dřevěná konstrukce (balsa, smrk, topol, ...). Ta se příliš neliší od konstrukce skutečných letadel.

V poslední době však přichází do obliby modely z extrudovaného polypropylenu (EPP). To je pěnový materiál velice podobný polystyrenu. Je však mnohem pevnější a pružnější. Model tedy zvládne bez větší újmy i drobné havárie. Tento materiál se využívá především u malých letadel s elektrickým pohonem. Díky své odolnosti je vhodný především pro začínající piloty.

Dalším typem konstrukce je kompozit. Ten je v současnosti čím dál tím častěji využíván u velkých akrobatických modelů stejně jako u jejich skutečných předloh. Nejčastěji se při výrobě kompozitových letadel využívá skelná, uhlíková nebo kevlarová tkanina, případně jejich kombinace.

Mezi vrstvy těchto materiálů se ještě vkládají různé pěnové materiály nebo voština. Ty pak spolu tvoří tzv. sendvič. Tento typ konstrukce je však velice drahý. Pokud si modelář chce letadlo postavit sám, kompozitové materiály nejsou příliš vhodné, protože v domácích podmínkách není jednoduché s takovými materiály pracovat a například výroba formy pro stavbu takového modelu je časově velmi náročná a extrémně nákladná záležitost [2][9][11].

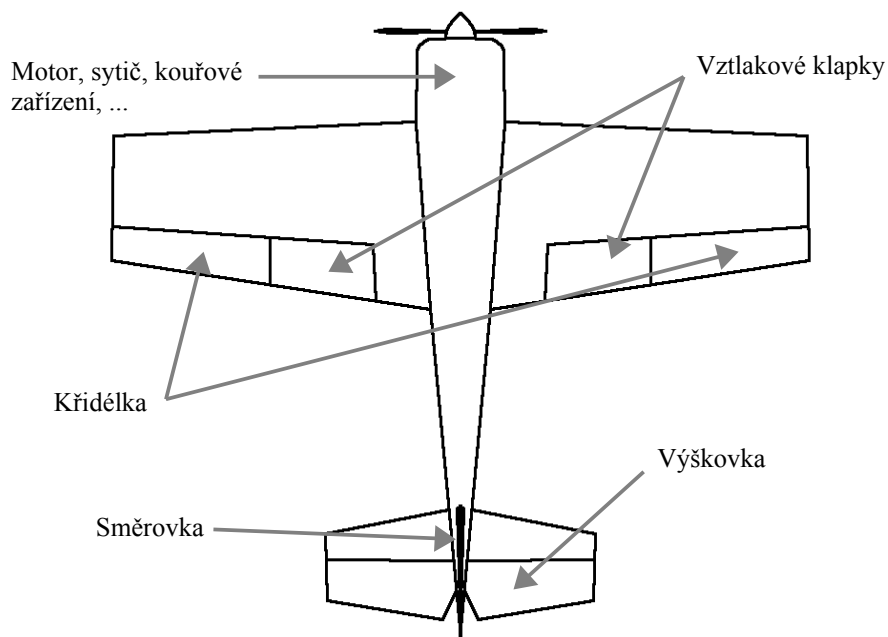
## RC modely letadel



*Obr. 2.10: DHC-2 Beaver od firmy Šad model*

Jak jsem již zmínil výše, RC modely letadel, jsou modely letadel ovládané pomocí RC soupravy.

Základní ovládané prvky v modelu jsou směrové kormidlo, výškovka a křidélka. Ty nejjednodušší stroje mívají ovládanou pouze směrovku a výškovku. Kromě základních prvků se často využívají ovládané vztahové klapky na křídlech a případně i aerodynamické brzdy. Ty slouží ke zpomalení letu při přistání. K ovládání těchto částí modelu se používají serva. Ta jsou napojena na přijímač, který je vlastně takovým srdcem stroje. Kromě těchto zařízení se ještě v letadle nachází napájecí akumulátor. Dále se mohou použít také různá další pomocná elektronická zařízení jako například přístroje pro zjišťování letových informací (výška, rychlost stoupání, stav akumulátorů, apod.). O těchto zařízeních se dočtete podrobněji níže.



*Obr. 2.11: Schéma motorového modelu letadla a jeho ovládaných funkcí*

Zejména u maket skutečných letadel mohou mít modeláři doplněny další ovládané prvky. Z těch řízených servy jsou to například, shoz pum nebo parašutistů, hýbající se pilot v kabině nebo různé další klapky na křídlech (například u maket velkých dopravních letadel). Dále se také využívá elektroniky pro osvětlení modelu nebo odpálení raket nebo dýmovnic. Existují i modely, vybavené zařízením, které produkuje zvuk skutečného letadla [2][4][5][6][16].

## 2.3 Modelářská RC elektronika

K řízení serv je primárně určena modelářská RC souprava. Jejími základními dvěma prvky jsou vysílač, označovaný Tx a přijímač, značený Rx. Informace pro tuto kapitolu byly shromážděny z těchto zdrojů [3][10][14][15][19][20].

### Vysílač

Vysílač je zařízení, které slouží k převodu pohybu ovladačů na elektronickou informaci a jejímu odesílání. Pomocí něj se ovládají rádiem řízené modely. V leteckém modelářství se využívají pákové vysílače (dva kniply pro ovládání základních řídicích ploch letadla).

Přiřazení jednotlivých funkcí ke křížovým ovladačům (módy) jsou čtyři varianty. Mód 1 má na pravém ovladači křídélka a motor a na levém směrovku a výškovku. Mód 2 má na pravém ovladači výškovku a křídélka a na levém směrovku a motor. Mód 3 má na pravém kniplu plyn a směrovku a na levém výškovku a křídélka. Mód 4 má na pravém kniplu výškovku a směrovku a na levém plyn a křídélka. Středová poloha u funkcí přiřazených ke křížovým ovladačům se nastavuje pomocí trimů, které bývají umístěny vedle a pod kniply. Kromě základních funkcí (motor, směrovka, výškovka a křídélka) bývají někdy na vysílači další přepínače (jedno i více polohové) a potenciometry pro ovládání doprovodných funkcí [14][20].



*Obr. 2.12: Vysílač Hitec Optic 6 2.4GHz [20]*

V počátcích RC modelářství se využívalo k bezdrátovému přenosu informace frekvenčního pásma 27MHz. V dnešní době se moc nevyužívá, protože na stejných frekvencích pracuje mnoho jiných zařízení (např. přenosné vysílačky), tudíž je zde velké riziko rušení. Později se z velké části přešlo na pásma 35MHz a 40MHz. V dnešní době tato opět ustupují, a přechází se na novou technologii, která využívá pásmo 2,4GHz a je mnohem bezpečnější [10][15].

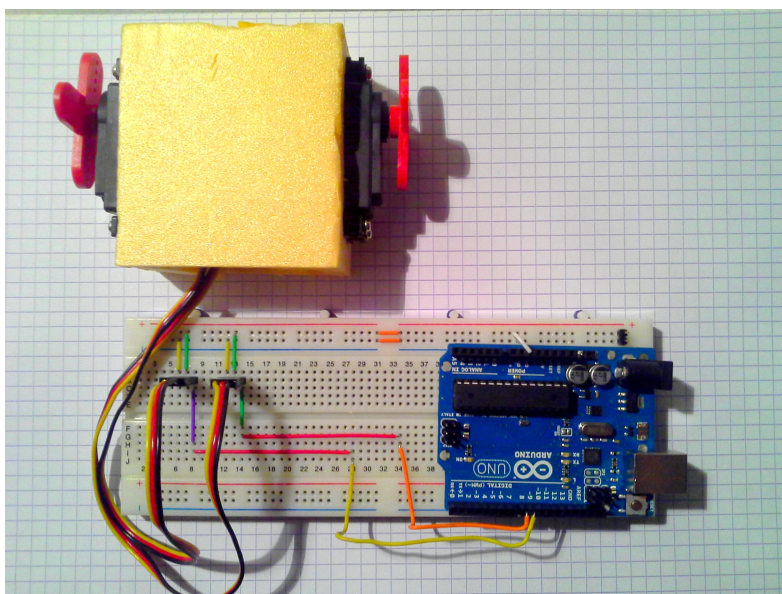
## Přijímač



*Obr. 2.13: Přijímač Hitec Optima 7 [20]*

Přijímač slouží k příjmu signálu od vysílače. Na základě získané informace pak generuje signály pro jednotlivá serva v modelu. Dále je využíván k jejich napájení a dalším pomocným funkcím, jako je například nastavení serv do nouzových výchylek v případě ztráty signálu od vysílače. Některé moderní přijímače jsou také schopné vysílat zpět do vysílače informace z modelu, jako je třeba napětí palubního zdroje [19][20].

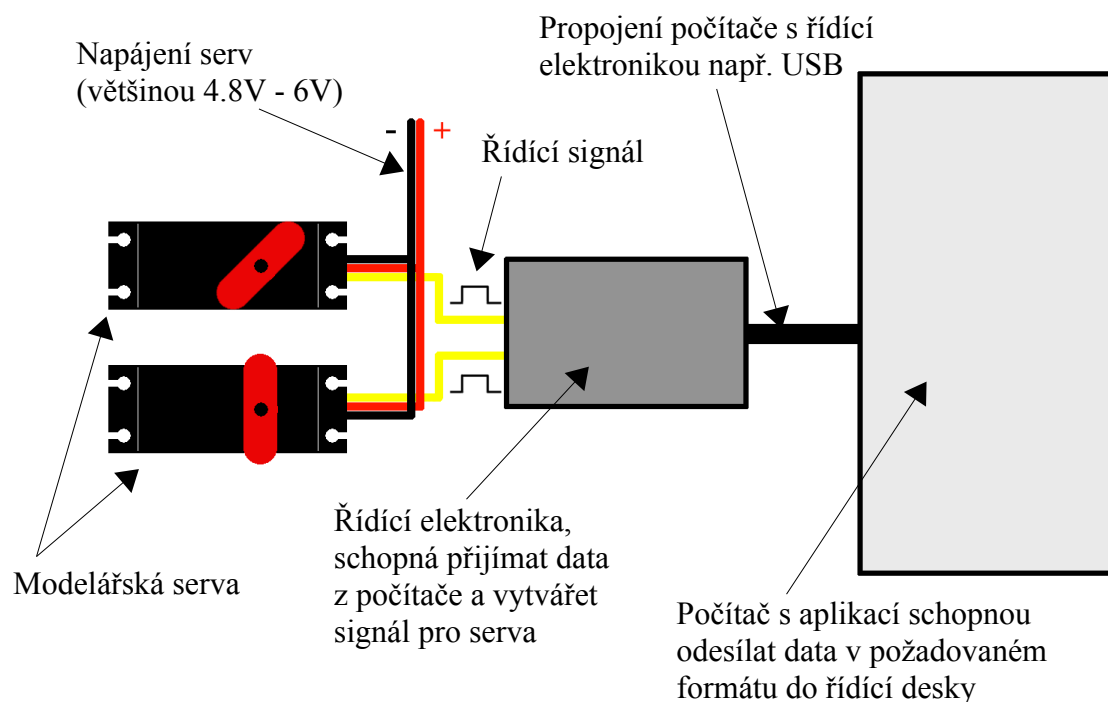
## Nahrazení RC elektroniky počítačem



*Obr. 2.14: Zapojení pro ovládání serv počítačem*

Při využití počítače k ovládání modelu je třeba vysílač a přijímač nahradit elektronikou, která je schopna komunikovat s počítačem a vytvářet požadovaný signál vysílaný do serva. Tento signál musí mít parametry odpovídající signálu generovanému RC přijímačem. To znamená, že se musí jednat o šířkovou modulaci s úrovní TTL s periodou 20ms a impulsy dlouhými od 1 do 2ms. Lze toho dosáhnout pomocí čítače, při jehož přetečení se vygeneruje přerušení. Tím se „odměřuje“ čas, po který má být výstupní signál v logické 1 nebo 0. Vhodným prostředkem k tomuto je vývojová deska Arduino, která má pro ovládání serv vlastní knihovnu. Blíže se o ní dočtete dále [3].

Vzhledem k tomu, že servy může procházet větším zatížením vysoký proud, je vhodné aby byla napájena zvlášť i kdyby řídicí elektronika umožňovala je napájet přímo. U většiny serv je napájecí napětí 4.8-6V. K tomu jsou vhodné čtyř nebo pěti článkové akumulátory NiMh [20].



*Obr. 2.15: Náskres připojení serv k počítači*

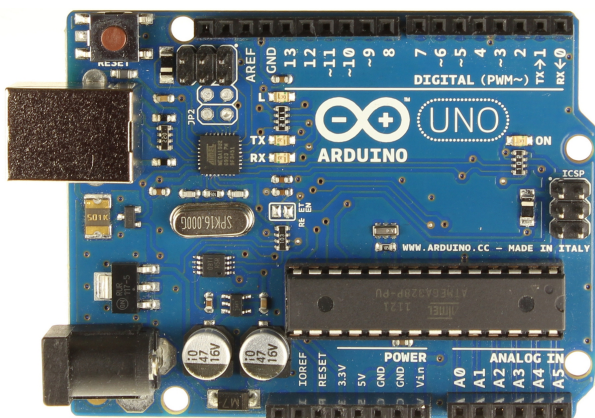
K přenosu informací o tom, jak se mají serva natočit je možné přenášet různými způsoby. Buď bezdrátově (WiFi, Bluetooth) nebo pomocí kabelu (USB, RS232). K tomu musí být řídicí deska i počítač vybaveny vhodnou elektronikou, která toto umožňuje. Ke komunikaci mezi s počítačem pomocí USB se opět hodí deska Arduino.

V počítači musí být vytvořena aplikace, která dokáže využívat přenosové zařízení k odesílání informace o požadovaném pohybu serv ve formátu, kterému řídicí deska rozumí. Pokud má tyto informace zadávat uživatel, je třeba, aby tato aplikace od něj dokázala tato data přijímat například pomocí grafického uživatelského rozhraní nebo příkazového řádku [3].

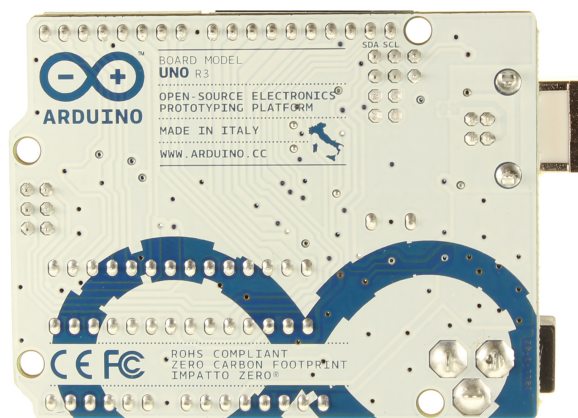
## 2.4 Deska Arduino Uno R3

Jedná se o italskou open-source vývojová deska s vlastním programovacím jazykem a IDE pro vývoj programů. Je postavené na procesoru Atmega328P-PU od firmy Atmel. Informace o něm jsou převzaty z domovské internetové stránky Arduina [17].





Obr. 2.16: Arduino Uno R3 [17]



Obr. 2.17: Arduino Uno R3 [17]

## Popis hardwaru

### Parametry udávané výrobcem:

- Mikrokontroler je použit Atmega328P-PU (8-bit) od firmy Atmel
- Provozní napětí je 5V
- Doporučené napájecí napětí by se mělo pohybovat v rozmezí 7-12V
- Vstupní napětí je omezeno na 6-20V
- Počet digitálních vstup-výstupních pinů je 14 a z toho 6 poskytuje PWM výstup
- Počet analogových vstupních pinů je 6
- Flash paměť má kapacitu 32KB, z toho 0.5KB používá bootloader
- SRAM má velikost 2KB
- EEPROM má kapacitu 1KB
- Taktovací frekvence je 16Mhz

Arduino může být napájeno buď přes USB, pomocí speciálního napájecího zdroje, pro který je zde připraven konektor nebo je možné použít jako zdroj i baterii. Ta se připojuje na piny GND a Vin na desce. Arduino dokáže pracovat s napájecím napětím od 6 do 20 voltů. Doporučené bezpečné napětí je ale 7 až 12 voltů.

Arduino Uno má několik pinů POWER. Patří mezi ně již zmíněný Vin, což je pin pro připojení vstupu napájecího napětí. Další dva piny jsou typu GND. Ty slouží jako zem. Po nich následují piny 5V a 3.3V. Toto jsou piny s výstupem napětí. Na desce dále nachází pin IOREF, který poskytuje referenční napětí, s nímž mikroprocesor pracuje.

Pro ukládání dat, která je třeba uchovat i po odpojení napájení, slouží 1kB paměť EEPROM. Programy se nahrávají do 32kB paměti flash.

## Jazyk Arduino

Jak jsem již zmínil výše, jazyk, který se používá k programování desek Arduino vychází z jazyka C/C++. kompletní dokumentace tohoto jazyka je dostupná on-line na domovské stránce Arduina (<http://arduino.cc/>). Zde rozeberu pouze základy, potřebné ke správnému pochopení popisu zdrojových textů v této práci.

## Základní struktura programu

Funkce `setup()` je volána pouze jednou, a to při startu programu po resetování desky nebo připojení napájecího napětí. Slouží k vložení počátečních stavů proměnných, nastavení pinů Arduina, inicializace sériové komunikace, apod.

Po funkci `setup()` je volána funkce `loop()`. Ta slouží jako hlavní smyčka programu a opakuje se, dokud není odpojeno napájecí napětí nebo není deska resetována. Prakticky odpovídá funkci `main()` v jazyce C/C++, až na to, že se cyklicky opakuje.

## Řídící struktury jazyka

Řídící struktury jazyka se nijak neliší od řídících struktur v C/C++. Jsou to `break`, `continue`, `return`, `goto`, klasické podmínky `if` a `if ... else`, přepínač `switch ... case` a cykly `for`, `while` a `do ... while`.

## Další syntaxe

Příkazy se ukončují klasicky pomocí středníku. Bloky se obalují složenými závorkami. Komentáře se vyznačují také stejně jako v C/C++ (`//` - řádkový a `/* ... */` - blokový). Makra se definují pomocí `#define` a knihovny se vkládají pomocí `#include`.

## Operátory

Aritmetické operátory v tomto jazyce jsou: `=` (přiřazení), `+` (sčítání), `-` (odčítání), `*` (násobení), `/` (dělení) a `%` (modulo). Porovnávací operátory jsou: `==` (rovno), `!=` (nerovno), `<` (menší), `>` (větší), `<=` (menší nebo rovno) a `>=` (větší nebo rovno). Používané booleovské operátory: `&&` (and), `||` (or) a `!` (not). Bitové operátory se také nijak neliší od C/C++: `&` (bitový and), `|` (bitový or), `^` (bitový xor), `~` (bitový not), `<<` (levý posun) a `>>` (pravý posun). V tomto jazyce lze také užít složené operátory: `++` (inkrementace), `--` (dekrementace) a operátory, určené pro operaci nad proměnou, do které se zároveň přiřazuje výsledek operace (`+=`, `-=`, `*=`, `/=`, `&=` a `|=`).

## Ukazatele

Ukazatele se používají pomocí dereferenčního operátoru `*` a referenčního operátoru `&`.

## Konstanty

**HIGH** (vysoká) a **LOW** (nízká) konstanty jsou hodnoty digitálního pinu při čtení nebo zápisu na něj. **INPUT**, **INPUT\_PULLUP** a **OUTPUT** jsou konstanty pro nastavení modu pinů. **LED\_BUILTIN** slouží k nastavení pinu, na kterém je připojená LED na desce, jako proměnná. Dále jazyk obsahuje booleovské konstanty **true** a **false**.

## Datové typy

**void** – žádný datový typ

**boolean** – booleovská proměnná, která nabývá hodnot `true` a `false`

**char** – uchovává hodnotu znaku a zabírá 1B paměti

**unsigned char** – uchovává pouze kladné celočíselné hodnoty o velikosti 1B

**byte** – stejné jako `unsigned char`

**int** – celočíselná hodnota, u Arduino Uno má 2B

**unsigned int** – stejné jako `int`, akorát ukládá pouze kladné hodnoty

**word** – ukládá kladné celočíselné hodnoty o velikosti 2B (stejně jako `unsigned int`)

**long** – stejné jako `int`, akorát velikost je 4B

**unsigned long** – stejné jako `unsigned int`, akorát velikost je 4B

**short** – celočíselná hodnota o velikosti 2B na všech typech desek Arduino

**float** – ukládá 4B hodnotu s plovoucí řádovou čárkou

**double** – také ukládá hodnoty s plovoucí řádovou čárkou, u Arduino Uno o velikosti 4B



Ze všech těchto datových typů lze vytvářet pole klasickým způsobem jako v jazyce C.

### Konverze

**char(), byte(), int(), word(), long(), word(), long(), float()** - Tyto funkce konvertují jim předanou hodnotu na hodnotu datového typu, odpovídajícímu názvu dané funkce.

### Knihovny

Zde je lehké přiblížení knihoven a funkcí jazyka Arduino sloužících k práci se servy s EEPROM pamětí a ke komunikaci po sériové lince.

## Servo

Tato knihovna slouží k ovládání modelářských RC serv. Na desku Arduino Uno jich lze připojit až dvanáct.

```
attach()
```

Připojí proměnnou serva k pinu. Parametry funkce jsou proměnná typu servo, ke které se má pin připojit, číslo pinu, na který je servo připojeno a případně minimální a maximální šířka pulzu pro ovládání serva (v mikrosekundách).

```
write()
```

Nastaví výstupní hřídel serva na požadovaný úhel pootočení. Funkci je předávána proměnná proměnnou určující servo, se kterým se má pohnout a úhel ve stupních, o který se má pootočit. Ten je zadáván v rozmezí od 0 do 180.

## EEPROM

Tato knihovna slouží k práci s pamětí EEPROM, v níž je možné uchovat data i v době, kdy je vypnuto napájení desky. Paměť tedy slouží jako malý pevný disk.

```
read()
```

Tato funkce přečte jeden byte z paměti. Pokud na čtené místo nebylo nikdy zapisováno, získaná hodnota bude 255. Parametrem této funkce je adresa do paměti uložená v proměnné typu integer. Návrátová hodnota je typu byte a obsahuje byte přečtený z paměti.

```
write()
```

Zapisuje hodnotu do paměti EEPROM. Funkce má dva parametry. Je to adresa do paměti, kam se má zapisovat a hodnota, která se má zapsat.

## Serial

Knihovna Serial slouží ke komunikaci mezi deskou a počítačem nebo jiným zařízením. V mém případě je použita ke komunikaci s počítačem pomocí USB.

```
begin()
```

Tato funkce vytváří spojení a nastavuje jeho parametry. V parametrech se jí předává přenosová rychlost v baudech. Druhý volitelný parametr je hodnota zastoupená makrem, udávající další parametry spojení jako počet datových bitů, paritu a počet stop bitů.

```
read()
```

Slouží ke čtení přijatých dat.

```
println()
```

Tato funkce je určena k odeslání textového řetězce po sériové lince zakončeného znakem konce řádku.

## 2.5 Prostředky pro upevnění kamery na RC model s možností ovládání náklonu

Asi největší sortiment těchto zařízení u nás má firma Pelikan Daniel. Ta prodává výrobky firmy DJI a kromě nich má i pár vlastních. V následujícím textu se je pokusím trochu přiblížit. Informace k této kapitole byly získány z [18][20]

### Pohyblivé závěsy kamer firmy Pelikan Daniel

Tato firma má v současnosti v sortimentu pět těchto zařízení. Z toho tři jsou brány jako kategorie hobby a dva jako kategorie profi. Já jsem si pro bližší prozkoumání vybral z každé kategorie jedno. Vidět je můžete na následujících dvou obrázcích.

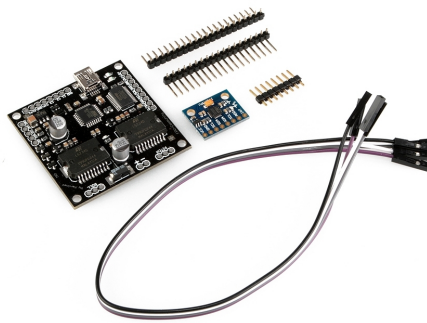


Obr. 2.18: Produkt firmy Pelikan Daniel kategorie hobby [20]



Obr. 2.19: Produkt firmy Pelikan Daniel kategorie profi [20]

Závěs kamery na prvním obrázku, je jediný komerčně vyráběný, který je ovládán pomocí klasických serv. Je konstruován pro kamery GoPro. Rozměry plochy pro její upevnění jsou 65x32mm. Váha zařízení bez serv a kamery je pouze 53g. K ovládání se využívá dvou serv. Jedno (doporučené miniservo Hitec HS-5245MG) slouží k náklonu do stran a druhé (doporučené mikroservo Hitec HS-5055MG). Z toho plyne, že je pohyblivý ve dvou osách. Kvůli minimalizaci přenosu vibrací na kameru, je upevňovací mechanismus vybaven gumovými silentbloky. K ovládání toho závěsu pro kameru uživatelem není třeba žádná další řídicí elektronika. Vše je ovládáno pomocí dvou kanálů přijímače v modelu. Jednotlivé díly jsou vyrobeny z uhlíkových desek a z hliníkového plechu. Cena tohoto držáku je 699Kč, servo HS-5246MG stojí přibližně 1000Kč a servo HS-5055 necelých 500Kč [20].



*Obr. 2.20: Řídící elektronika firmy Pelikan Daniel [20]*

Druhý závěs již není ovládán pomocí serv, ale slouží k tomu dva střídavé elektromotory GMB4008-150T, schopné hýbat kamerami a fotoaparáty o hmotnosti od 400 do 800g. Zařízení je schopné se otáčet ve dvou osách, a to naklánět do stran a dopředu a dozadu. K modelu je upevněno přes dvě uhlíkové desky, mezi kterými je osmnáct silentbloků. Díky tomu je kamera dobře odizolována od vibrací v modelu. Zbytek základní konstrukce je vyfrézován z hliníkového plechu a červeně eloxován. K ovládání závěsu je třeba řídicí deska. Tu výrobce dodává spolu s díly tohoto držáku kamery. Je postavená na bázi Open source desky Arduino. K řízení a napájení motorů slouží PID regulátory. Deska je vybavena jednočipovým procesorem Atmega 328p 16MHz. Na dalším plošném spoji je umístěno gyroskopické čidlo, které se připojuje k hlavní desce. Díky němu je možné kameru za letu stabilizovat. Elektronika se dá pomocí Mini-uSB propojit s uživatelským rozhraním v počítači (v systému Windows). Zde je možné nastavovat parametry PID regulátorů, smysl otáčení elektromotorů, rozsah výchylek, kalibraci gyroskopického senzoru, apod. Kromě automatické stabilizace ve dvou osách je možné zařízení ovládat pomocí dvou kanálů RC soupravy. Řídící desku si musí uživatel naprogramovat sám. Nejedná se tedy o hotový výrobek. Tento závěs s motory a řídicí deskou stojí necelých 9000Kč. Samotná řídicí deska vyjde na 2390Kč a cena jednoho motoru GMB4008-150T je kolem 1300Kč [20].

## **Pohyblivé závěsy firmy DJI**

DJI je firma zabývající se výrobou a prodejem multikoptér a příslušenství k nim. Především se zaměřuje na natáčení videa z těchto létajících zařízení.



*Obr. 2.21: Závěs H3-2D firmy DJI [20]*



*Obr. 2.22: Závěs Z15-N(5) firmy DJI [20]*

Všechny držáky pro kameru od tohoto výrobce jsou uváděny jako profi zařízení. Z produktů firmy DJI jsem si opět vybral dva závěsy, o kterých se zde rozepíši. Můžete je vidět na předchozích dvou obrázcích.

První z nich je H3-2D určený pro kameru GoPro Hero3. Pohybuje se ve dvou osách pomocí dvou elektromotorů. Řídící jednotka je součástí výrobku. Pro uvedení do provozu není třeba na rozdíl od závěsů firmy Pelikan Daniel nic nastavovat nebo doprogramovávat. Řídící elektronika ve spojení elektromotory je schopna stojánek stabilizovat s přesností kontrolního úhlu  $0.08^\circ$ . Materiál, z kterého jsou základní konstrukční díly vyrobeny je tvrdá slitina hliníku. Hmotnost i s kamerou GoPro hero3 je 230g. Cena kompletního závěsu bez kamery je 7590Kč.

Druhým závěsem od firmy DJI je Z15-N(5) konstruovaný pro fotoaparát SONY NEX-5N s objektivem E 16 f/2.8 (SEL16F28). Náklon je možný ve všech třech osách pomocí tří servomotorů. Úhel pootočení není omezen. Řídící jednotka je vybavena tříosým gyroskopem a tříosým akcelerometrem, pomocí nichž stabilizuje držák a fotoaparát. Nastavování parametrů zařízení je možné v počítačovém programu přes kabel USB. Závěs může pracovat ve třech režimech. První je pro FPV přenos obrazu. Kamera je stabilizována dopředu a její pohyb není možně řídit. Druhý režim je pro volné ovládání ve všech osách pomocí RC soupravy a třetí je podobný FPV režim, s tím že je možné závěs řídit. Pro řízení je třeba čtyř kanálu přijímače a vysílače. Tři pro řízení náklonu a otáčení a čtvrtý pro přepínání režimů. Hmotnost celého zařízení je kolem 1250g. Cena kompletního závěsu bez kamery je 83990Kč [18][20].

### 3 Zhodnocení současného stavu a plán práce

Ještě dříve než jsem začal pracovat na této práci a než jsem si vybral toto zadání, jsem se poohlížel po vhodném zařízení pro natáčení videa z RC modelů letadel. Během dlouhé doby, kdy jsem se odhodlával k tomu, abych si něco takového pořídil, jsem prozkoumal několik řešení od různých výrobců. Zhodnocením výhod a nevýhod existujících řešení a jejich použitelností při natáčení videa z modelu letadla se zabývá následující podkapitola.

V další podkapitole jsou sepsány požadavky na to, jak by mělo výsledné zařízení fungovat, jaké by měly být jeho možnosti apod.

#### 3.1 Výhody a nevýhody existujících zařízení



*Obr. 3.1: Oktokoptera DJI S1000 Profí [20]*

První a asi největší nevýhodou závěsů, které jsem představil výše je, že jsou primárně určeny pro multikoptéry a ne pro modely letadel. Montují se dolů mezi nohy podvozku, jak je vidět na následujícím obrázku. Multikoptéry se vzduchem pohybují jinak než letadla. Díky tomu jim nevádí velmi špatné aerodynamické vlastnosti těchto řešení. Kromě toho má většina závěsů velké rozměry. Proto by se daly namontovat pouze na opravdu velké modely letadel. Multikoptéry také nelétají nijak rychle, proto nejsou držáky pro kamery konstruovány, tak aby dobře odolávaly silnému proudění vzduchu, jaké by na ně působilo při instalaci na model letadla.

Nepříznivé jsou také rozměry většiny multikoptérových závěsů. Tak velký držák by se dal namontovat pouze na opravdu veliké RC modely.

Výše popsaná zařízení jsou konstruována vždy pro jeden určitý typ kamery či fotoaparátu. Pokud bych chtěl použít jiný, musel bych zařízení upravit, pokud by to vůbec šlo.

Další nevýhodou je vysoká cena prodávaných závěsů. Ta se pohybuje od cca 2500Kč u těch nejjednodušších až po téměř 90 000Kč za profi držáky. Tyto ceny jsou navíc bez fotoaparátu nebo kamery [20].

Tím co se mi na existujících řešeních líbí je řídící deska, ve které se dají pomocí aplikace v počítači nastavovat parametry zařízení (např. maximální výchylky, směr otáčení, kalibrace, apod.). Tím jsem se inspiroval při návrhu vlastního zařízení.

## 3.2 Požadavky na vlastní zařízení

Zde se pokusím v bodech sepsat jaké byly požadavky na zařízení, které jsem vytvářel.

Prvním požadavkem bylo, aby závěs por kameru byl vytvořen tak, aby se jeho pohyb ovládal pomocí dvou kanálů RC soupravy. Využívat se může buď RC soupravy, kterou se ovládá model nebo druhé, určené přímo pro ovládání závěsu. V takovém případě je vhodné, aby zařízení ovládala jiná osoba než pilot modelu. Stejným způsobem je řešeno ovládání i u některých multikoptér.

Dále bylo nutné, jak jsem se již zmínil ve shrnutí výhod a nevýhod existujících zařízení, aby byla serva ovládána přes řídící desku, ve které bude možno nastavovat a ukládat některé parametry pohybu. Tím jsou myšleny maximální výchylka, směr pohybu a možnost kalibrace zařízení. Řídící deska ve spojení s aplikací v počítači také musí umožňovat ovládat náklon závěsu ve všech osách bez použití RC soupravy. Využívá se toho při testování pohybu zařízení při jeho instalaci do modelu. Navíc součástí zadání bylo prostudovat a vyzkoušet možnosti ovládání serv pomocí počítače, do čehož tato funkce spadá. Řídící deska je také nutná k „mixování“ příchozích signálů od přijímače na signály pro jednotlivá serva

Dalším požadavkem bylo, aby se dal závěs použít pokud možno pro co nejvíce různých typů kamer a fotoaparátů. Výsledné zařízení je proto konstruováno tak, aby bylo schopné nést například i těžkou zrcadlovku, za předpokladu že to použitý model letadla umožní.

Dále bylo nutné použít k pohybování stojánkem modelářská serva, což bylo dáno i zadáním. Se servy se navíc mnohem lépe pracuje, než například se samostatnými elektromotory. U těch by bylo mnohem složitější zkonstruovat mechaniku závěsu.

Za další jsem chtěl, aby byl závěs mechanicky co nejjednodušší, protože čím více je zařízení složitější, tím více se toho může porouchat. Navržené zařízení je díky tomu také mnohem odolnější než existující řešení. Díky jednoduchosti mechanických částí jsem také nemusel věnovat tolik času jejich výrobě a mohl jsem se věnovat implementačním záležitostem, které jsou pro tuto práci tím hlavním.

Posledním požadavkem při návrhu bylo, aby zařízení co nejméně narušovalo aerodynamiku letadla. Z toho důvodu je výsledný závěs zkonstruován tak, aby se dal instalovat do šachty ve spodní části trupu modelu. Pokud by byl totiž fotoaparát vně stroje, nejen, že by působil stejně jako aerodynamická brzda, ale zároveň by se při každém natočení choval jako kormidlo a model by uhýbal ze směru letu. V extrémním případě by dokonce mohlo dojít i k havárii letadla.

## 4 Popis práce a jejích výsledků

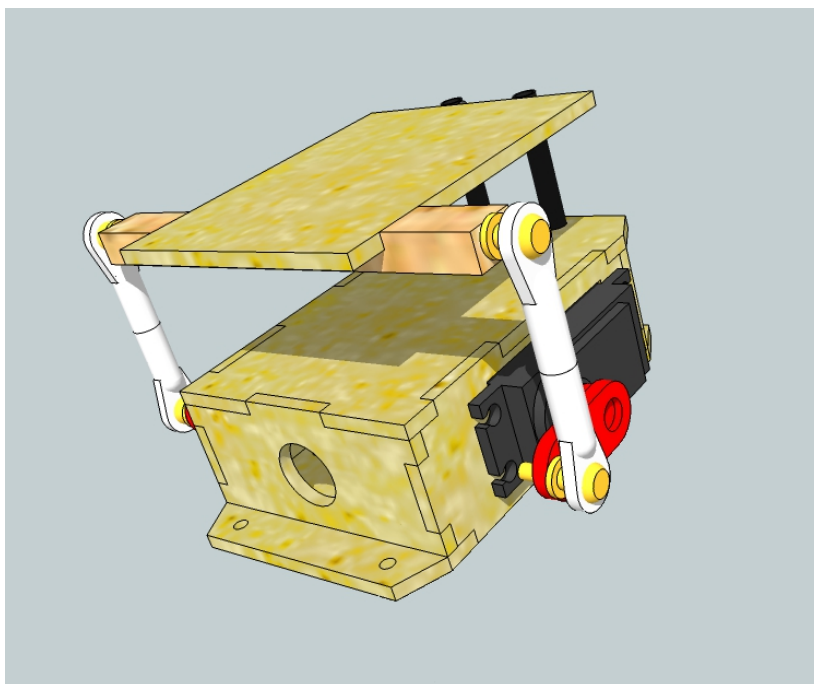
Jak jsem již napsal výše, zařízení, které jsem vytvářel je pohyblivý závěs pro kameru či fotoaparát. Instaluje se do modelu letadla a slouží k pořizování leteckých záběrů nebo naklánění FPV kamery při řízení letadla z pohledu pilota.

K ovládání pohybu závěsu se využívá dvou kanálů RC soupravy. Zpracování signálů z přijímače se provádí v řídicí desce. Po jejím připojení pomocí USB k počítači je možné nastavovat parametry pohybu kamery. Těmito parametry jsou maximální výchylky, směr pohybu a kalibrace středové polohy. To vše lze nastavit pro obě osy pohybu. Další funkcí počítačové aplikace ve spojení s řídicí deskou je možnost testování pohybu závěsu bez nutnosti použití RC soupravy. Uživatel si může v aplikaci nastavit úhel náklonu v ose X nebo Y. Využití toho lze například při instalaci závěsu do modelu, kdy je potřeba otestovat zda pohybu kamery v žádné poloze nic nebrání.

### 4.1 Konstrukce mechaniky

K návrhu konstrukce mechaniky zařízení jsem využil 3D grafického softwaru Google Sketchup 8. Díky tomu lze vytvořený model upravit pro frézování dílů pomocí CNC horizontální frézky, které se v poslední době čím dál častěji objevují v dílnách modelářů. Druhou výhodou počítačového modelu zařízení je, že lze snadněji odhalit konstrukční chyby ještě před tím než je zařízení vyrobeno.

Při vymýšlení zabudování zařízení do modelu jsem využil tento zdroj [7].



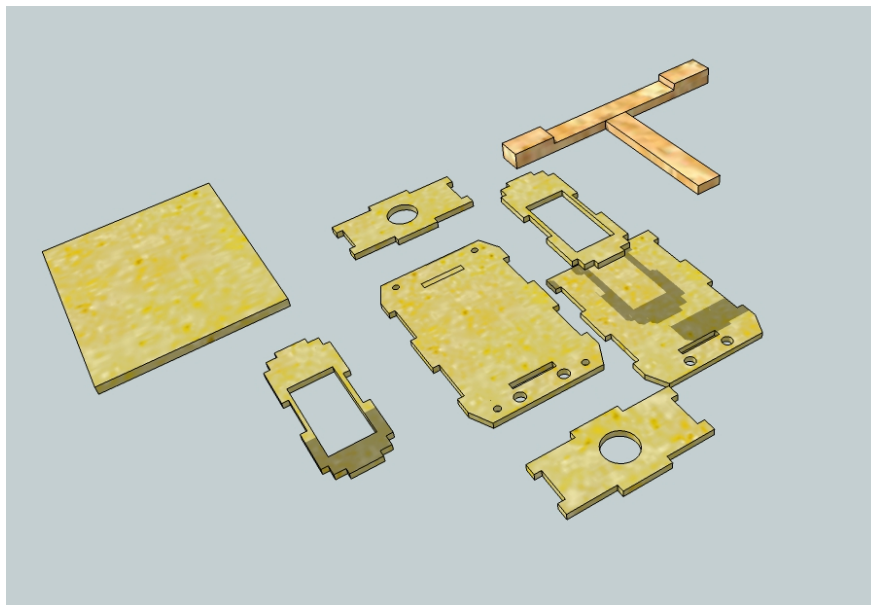
Obr. 4.1: Mechanika stojánku se se servy

#### Krabička pro uložení serv

Spodní krabička slouží k uložení a upevnění serv a pohyblivých částí stojánku a k upevnění zařízení do modelu. Řídicí deska a akumulátory jsou mimo samotné mechanické zařízení kvůli možnosti rozmístit jednotlivé části elektroniky uvnitř trupu modelu kvůli dosažení optimální polohy těžiště letadla. Konstrukce krabičky musí být dostatečně tuhá, aby nedocházelo ke kroucení mezi servy a upevněním pantu. Tím by vznikaly nepřesnosti v pohybu fotoaparátu a ke vzniku nežádoucích

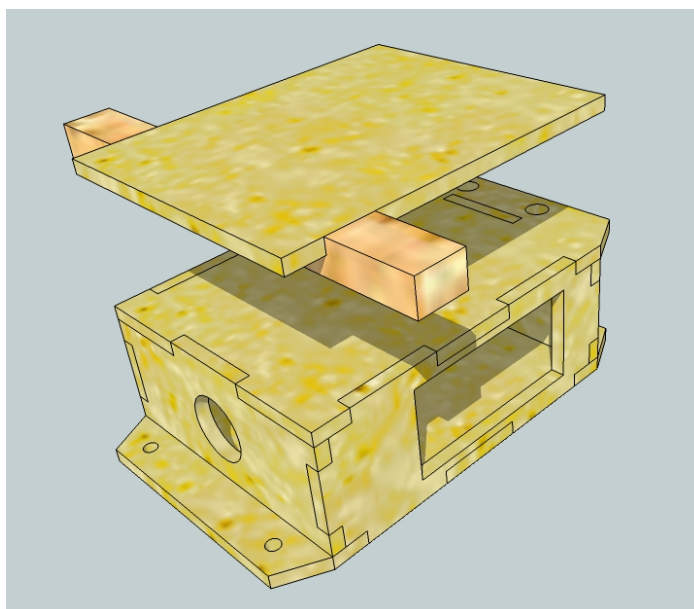


vibrací. Vrchní pohyblivá deska je zpevněná smrkovou výztuhou ve tvaru T, na kterou se upevňuje pant a dvě táhla.



*Obr. 4.2: Překližkové a smrkové díly krabičky*

Krabička a deska, na kterou se fotoaparát upevňuje, jsou vyrobeny z topolové překližky, která se využívá i při stavbě modelů letadel. U spojů je využito tzv. zámkové techniky rovněž využívané v modelářství. Díky tomu jsou pevnější a krabička se lépe sestavuje a lépe dohromady.



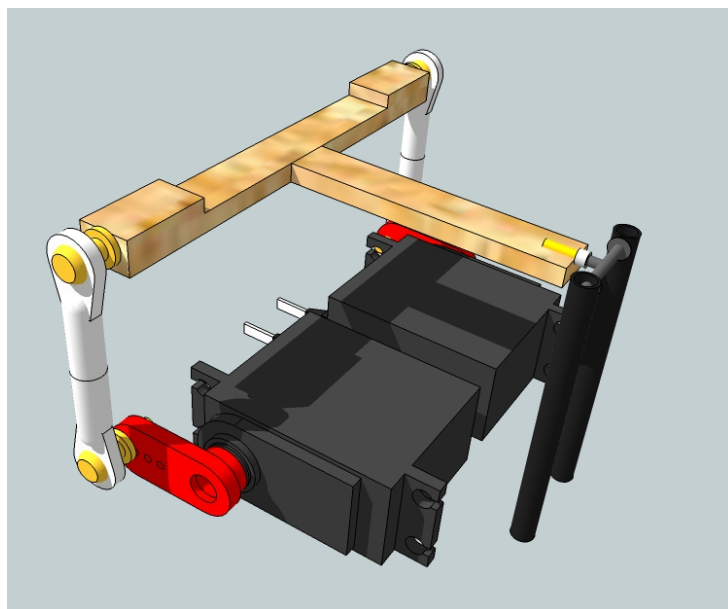
*Obr. 4.3: Sestavená krabička mechaniky*

## **Pohyblivé části**

Stojánek se může natáčet ve dvou osách. K tomu slouží dvě serva, která musí mít v řídicí desce implementovaný program, který přebírá signál z dvou kanálů přijímače a mixuje je pro správný

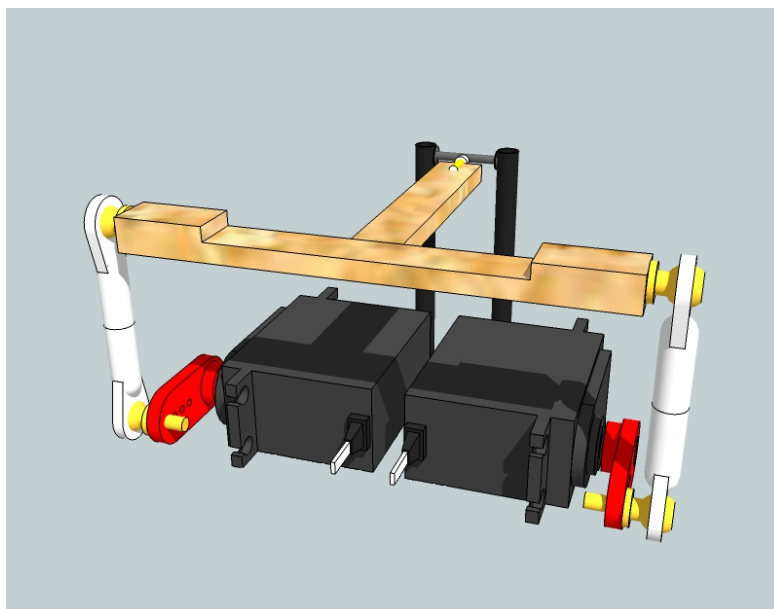


pohyb obou serv. Při pohybu v jednom směru se páky obou serv natáčí souhlasně nahoru nebo dolů. Při pohybu v druhé ose se musí každé servo pohybovat opačně než druhé. U skutečného otáčení pák serv je tomu ale naopak, protože při otočení výstupní hřídele obou serv ve směru hodinových ručiček se jedna páka pohybuje nahoru a druhá dolů. Snadněji si to lze představit při pohledu na následující obrázek, kde jsou vidět pohyblivé části zařízení bez krabičky pro serva a vrchní desky na upevnění kamery.



*Obr. 4.4: Pohyblivé části se servy*

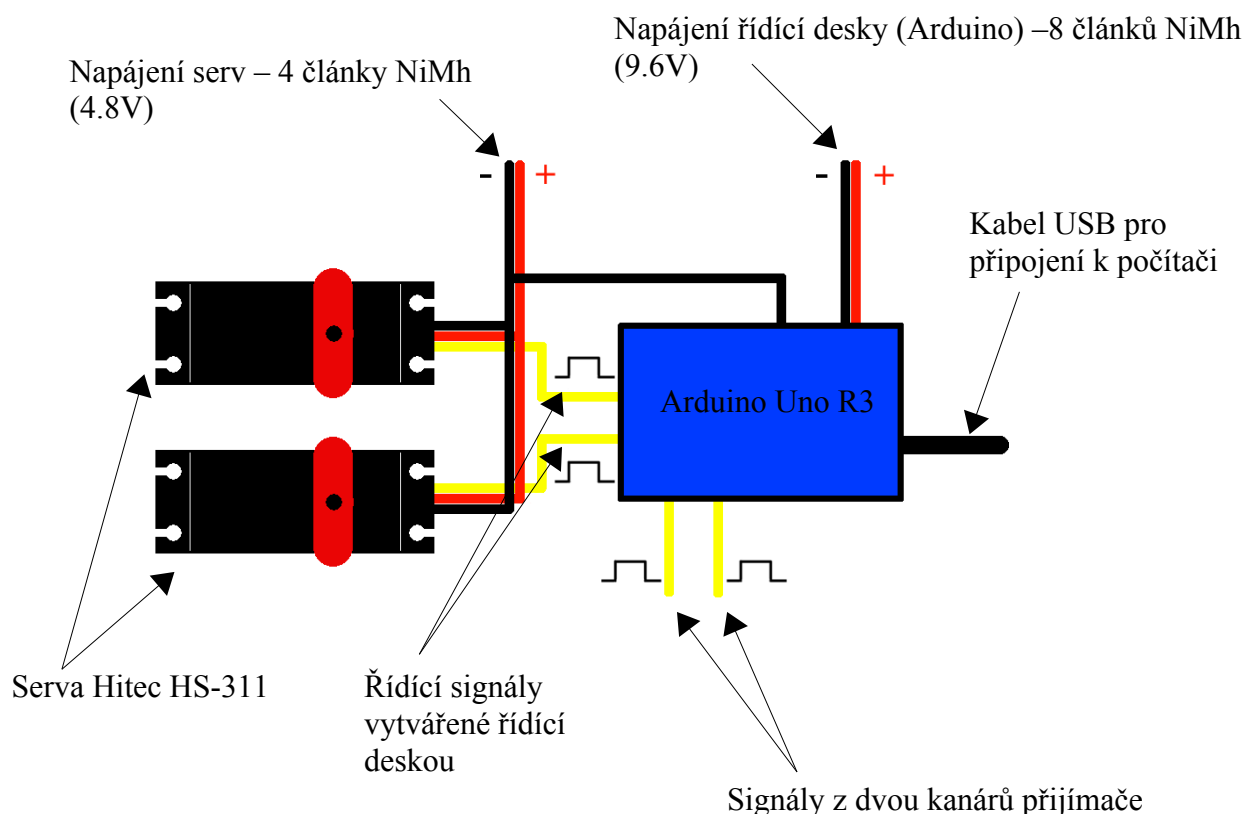
Pohybu od serv na výztuhu desky se přenáší pomocí dvou táhel. Každé z nich je sestaveno ze dvou modelářských kulových čepů od firmy MP-Jet, které umožňují náklon v dostatečném úhlu. Spojeny jsou závitovou tyčí o průměru 3mm se závitem M3.



*Obr. 4.5: Pohyblivé části se servy*

Ve středu otáčení pohyblivé desky zařízení je pant. Ten umožňuje náklon pouze ve dvou osách a zabráňuje otáčení podél svislé osy. Je vyroben z uhlíkové trubičky 5x4mm, hliníkové trubičky 3x2.1mm a drátu z pružinové oceli o průměru 2mm.

## 4.2 Zapojení elektroniky



Obr. 4.6: Náskres zapojení elektroniky

V zařízení jsou použita dvě standardní serva Hitec HS-311 s tahem při 4.8V je 3kg/cm a při 6.0V 3.7kg/cm a rychlostí. Zvolil jsem je, protože mají dostatečný výkon a přijatelnou cenu. Dalším důvodem bylo to, že je mám dlouhodobě vyzkoušená v mých modelech letadel.

Pro řízení serv jsem použil italskou open-source vývojovou desku Arduino UNO R3. Zvolil jsem ji pro její jednoduché použití a hojné využívání v podobných zařízeních.

Kvůli ochraně před vysokým proudem tekoucím do serv jsou napájena samostatnými akumulátory a ne pomocí 5V výstupu z Arduina. Serva jsou napájena čtyř článkovým akumulátorem NiMH (4.8V) a Arduino osmi článkem NiMH (9.6V).

Řídicí signál do serv vychází z pinů 8 a 9 řídicí desky a vstupní signály z přijímače jsou připojeny k pinům 4 a 5. Napájení Arduina se připojuje k pinům GND (-) a Vin (+). Do druhého pinu GND se připojuje záporný pól napětí serv.

## 4.3 Implementace softwaru

Software implementovaný pro toto zařízení se skládá ze dvou programů. První je aplikace s grafickým uživatelským rozhraním a druhá program pro desku Arduino.

### Aplikace pro osobní počítač

Jak je popsáno výše, tato aplikace slouží k práci se závěsem pomocí osobního počítače. Je určena pro operační systémy Windows. S řídicí deskou stojánku komunikuje pomocí USB rozhraní.

Aplikace je implementována v jazyce C# a .NET 4.5 frameworku. Grafické prostředí jsem vytvořil pomocí WPF (Windows Presentation Foundation). K implementaci bylo využito vývojového prostředí Microsoft Visual Studio 2012 na operačním systému Microsoft Windows 8.1.

Hlavním grafickým prvkem aplikace je sada tří karet (TabControl). První má název *Nastavení závěsu*, druhá *Pohyb* a třetí *Nastavení spojení*.

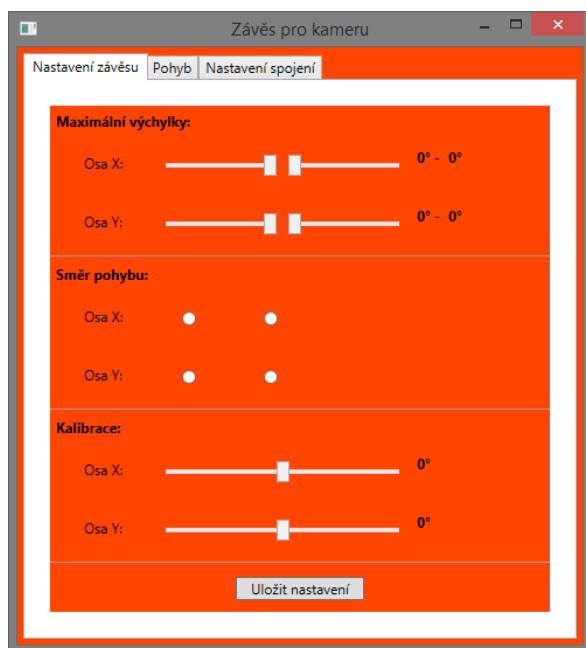
#### ● Karta *Nastavení závěsu*

Jedná se o hlavní kartu aplikace. Jak již název napovídá, slouží k nastavování parametrů pohybu kamery či fotoaparátu. Karta je rozdělena horizontálními čarami na čtyři části.

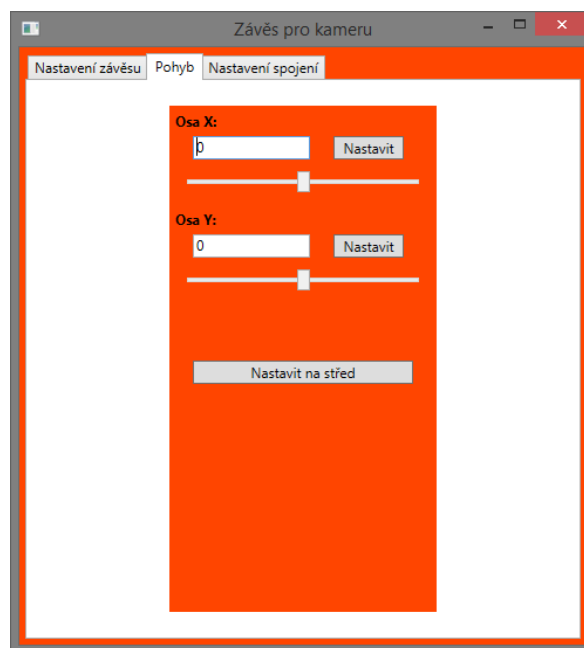
První část slouží k nastavení maximálních výchylek v osách X a Y. Jsou zde čtyři posuvníky. Pro oba směry pohybu na každé ose.

V druhé části se přepíná směr výchylek též v obou osách. Slouží k tomu dva páry tlačítek (RadioButton).

Třetí část je určena ke kalibraci závěsu. Pomocí dvou posuvníků lze upravit středovou polohu až o 5° v každém směru na obou osách.



Obr. 4.7: Screenshot části aplikace, kde se nastavují parametry pohybu



Obr. 4.8: Screenshot části aplikace, kde se nastavuje náklon závěsu

Ve čtvrté části se nachází pouze tlačítko, pomocí kterého se nastavené parametry uloží do EEPROM paměti řídicí desky.

- **Karta *Pohyb***

Druhá karta této aplikace s nadpisem *Pohyb*, jak již název napovídá, slouží k nastavování náklonu kamery. Využit k tomu lze buď posuvníky nebo textové pole, do kterého se píše úhel náklonu v dané ose. Přibližně v polovině výšky okna je také velké tlačítko pro jednoduché nastavení středové polohy.

- **Karta *Nastavení***

Třetí a poslední karta s nadpisem *Nastavení* slouží k nastavování portu pro připojení aplikace k řídicí desce závěsu a otevření spojení. Pro výběr portu je zde rozbalovací nabídka. Po stisknutí tlačítka *Nastavit* se uloží zvolený název portu a pomocí něj se deska připojí.

### Implementace

Implementace je ve Visual Studiu rozdělena do dvou spojených projektů. V prvním je vytvořeno grafické rozhraní a druhý slouží ke komunikaci po sériové lince s řídicí deskou závěsu.

Grafické rozhraní funguje tak, že když se upraví některá hodnota, je vyvoláno odeslání této hodnoty do desky, aby se změna parametrů pohybu hned projevila. Pro každou proměnnou, která se odesílá do řídicí desky (směr pohybu v ose X, směr pohybu v ose Y, kalibrace osy X, ...) existuje jedna „property“ třídy hlavního okna, díky níž je při přepsání hodnoty vyvoláno odeslání.

Data odesílaná po sériové lince do řídicí desky:

	Formát odesílaných dat	Příklad
Náklon v ose X	<b>nax</b> + úhel náklonu	nax10
Náklon v ose Y	<b>nay</b> + úhel náklonu	nay-12
Levá max. výchylka v ose X	<b>vx1</b> + maximální výchylka	vx1-30
Pravá max. výchylka v ose X	<b>vxp</b> + maximální výchylka	vxp25
Levá max. výchylka v ose Y	<b>vy1</b> + maximální výchylka	vy1-40
Pravá max. výchylka v ose Y	<b>vyp</b> + maximální výchylka	vyp23
Směr otáčení v ose X	<b>rex</b> + 0 nebo 1	rex0
Směr otáčení v ose Y	<b>rey</b> + 0 nebo 1	rey1
Kalibrace v ose X	<b>kax</b> + úhel o který se střed posouvá	kax3
Kalibrace v ose Y	<b>kay</b> + úhel o který se střed posouvá	kay-2
Žádost o uložení dat	<b>ulo</b>	ulo

Ke komunikaci se závěsem slouží třída `SeriovýPort`. Obsahuje čtyři metody pro vytvoření spojení, uzavření spojení příjem dat a odeslání dat. Pro práci se sériovým portem je využito třídy `SerialPort` z oboru názvů `System.IO.Ports`.

Parametry přenosu:

- Přenosová rychlost – 9600
- 8 datových bitů
- Žádná parita
- 1 stop bit

### Software v řídicí desce závěsu

Program, implementovaný pro desku Arduino slouží k příjmu dvou signálů z přijímače v modelu a jejich transformaci na signály pro serva. Do těchto signálů zapracovává data o parametrech pohybu, uložená v EEPROM paměti. Dále pokud je připojen kabel USB, komunikuje pomocí něj s aplikací, běžící v počítači. Přijímá od něj informace a zpracovává je. Tyto informace jsou hodnoty

náklonu stojánku nebo nastavení parametrů pohybu. Pokud má nastavení uložit do paměti, musí k tomu být vyzvána zasláním příkazu z počítače.

První část programu, která se hned po startu spustí je funkce `setup()`. V té se nejprve nastaví piny 8 a 9 pro výstup řídicího signálu do serv. Dále následuje nastavení pinů 4 a 5 jako vstupní. K nim musí být připojeny dva signály od přijímače v modelu. Následuje načtení uložených dat z paměti EEPROM. Dalším krokem je nastavení parametrů spojení po sériové lince.

V hlavní smyčce programu (`loop()`) se testuje, jestli je připojen počítač. Pokud ne, změří se šířka impulsů přicházejících na piny 4 a 5 z přijímače a je zavolána funkce, která naměřenou hodnotu převede na úhel a ten poté pomocí funkce pro ovládání serv nastaví.

Funkci pro přepočet šířky pulzu na úhel je předávána délka pulsu v mikrosekundách. Z této hodnoty je poté odečtena délka impulsu pro středovou polohu serva ( $1500\mu s$ ). Po vynásobení získané hodnoty konstantou 0.18 dostaneme odpovídající úhel natočení páky serva. Tato konstanta vyplývá z faktu, že  $500\mu s$  odpovídá  $90^\circ$  pootočení páky serva.

$$pootočení = (impuls - 1500\mu s) * 0.18$$

Funkce pro řízení serv využívá hodnot uložených v paměti nebo nastavených počítačem přes sériovou linku k úpravě úhlů náklonu zařízení. Pomocí knihovní funkce pro nastavení úhlu serva (`write()`) se tento úhel nastavuje v rozsahu  $0-180^\circ$ . Z toho plyne že střed je  $90^\circ$ .

$$servoA = 90^\circ + x + y + kalibraceX + kalibraceY$$

$$servoB = 90^\circ - x + y - kalibraceX + kalibraceY$$

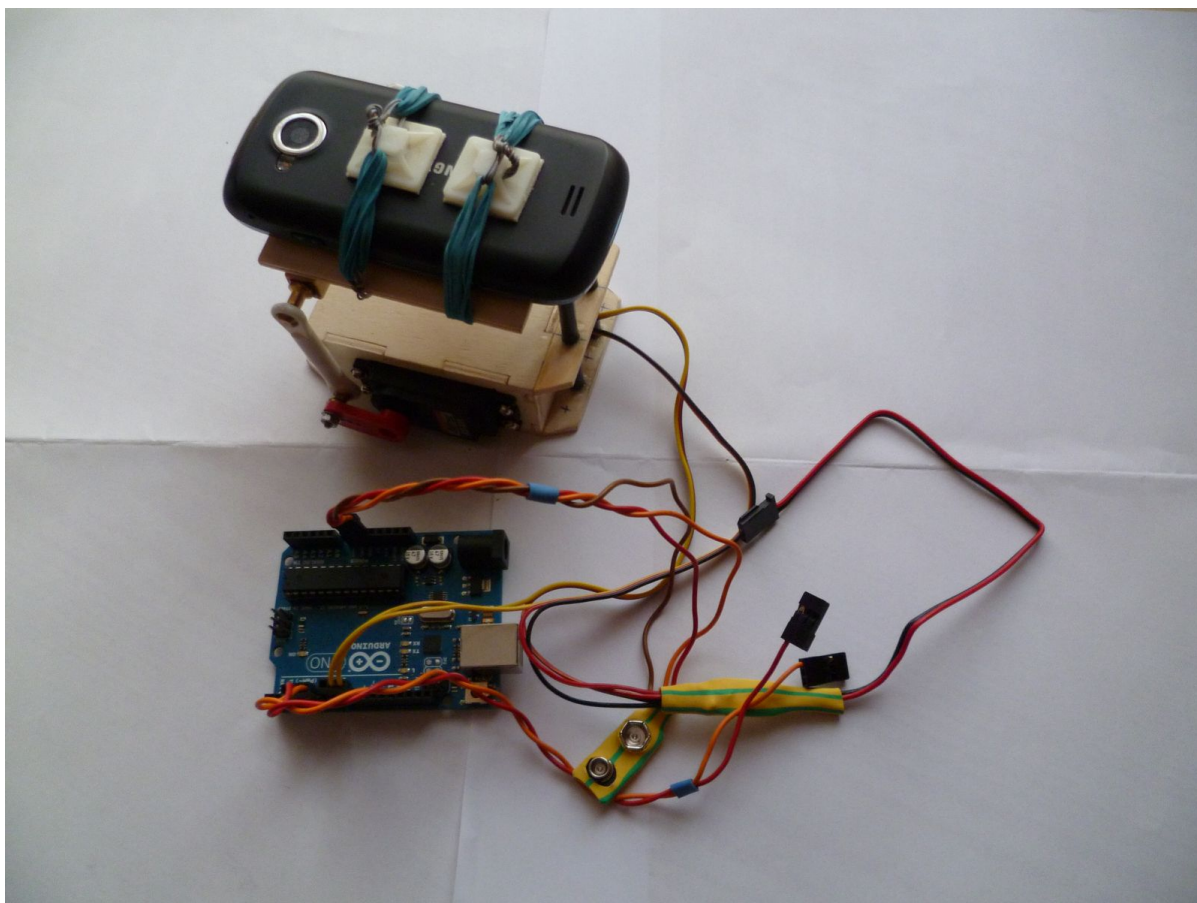
Vzhledem k tomu, že náklon zařízení v určité ose neodpovídá pootočení jednoho serva je nutná úhel serva vypočítat. Při náklonu v ose X je třeba aby se páky serv zvedaly souhlasně a při náklonu v ose Y se musí jedna pohnout nahoru a druhá dolů. Vzhledem k tomu, že jsou serva v krabici zařízení umístěna po stranách proti sobě, musí tomu být u otáčení serv obráceně.

## 4.4 Testování a zhodnocení výsledku

V této kapitole zhodnotím splnění požadavků na výsledné zařízení. Dále zde také rozeberu problémy, které má výsledné zařízení a které by bylo dobré v případě dalšího vývoje zařízení odstranit.

Testování přesnosti probíhalo proměřováním vůlí na vrchní desce pro fotoaparát. Bohužel jsem odhalil poměrně velké nepřesnosti v jejím pohybu. Je to způsobeno nedostatečnou tuhostí mnou vytvořeného pantu, který umožňuje nežádoucí otáčení desky kolem svislé osy zařízení. Teto odchylka je přibližně  $3-5^\circ$  podle síly, která na desku působí. To způsobí kmitání fotoaparátu v letadle kvůli vibracím od motoru modelu. Vůle v ostatních osách jsou díky kvalitě provedení serv téměř nulové.

Nejvhodnější by bylo stojánek testovat s lepším vybavením. Myšleno je tím například měření vůlí a přesnosti serv při určitém zatížení desky. Dalším možným testováním je měření přesnosti pohybu zařízení za určitých přetížení, protože je určeno pro modely letadel. Případně by bylo vhodné v aerodynamickém tunelu otestovat aerodynamické vlastnosti stojánku a vliv pohybu fotoaparátu na obtékání modelu. Tyto testy jsem ale provést nemohl, protože jsem pro ně neměl vhodné vybavení.



*Obr. 4.9: Výsledné zařízení*

Vzhledem k mechanickým vům na pantu by bylo vhodné do budoucna navrhnout a vytvořit mechaniku novou s lepším řešením aretace pohybu ve svislé ose. Dále by bylo vhodné do budoucna ještě doplnit další parametry možné nastavovat pomocí aplikace v počítači. Tím je myšleno například možnost předprogramování průběhu výchylek serv. Další možnou novou funkcí by mohla být stabilizace zařízení pomocí gyroskopů jako tomu bývá u některých závěsů na kameru pro multikoptéry. Výhodou by byl také přenos natáčeného videa v reálném čase na zem k člověku, který náklon kamery ovládá.

## 5 Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumat jak fungují modelářská serva a jak je možné je použít ve spojení s počítačem. S využitím serv pak bylo třeba navrhnout, sestavit a vyzkoušet jednoduchý strojek. Záměr se podařilo splnit a během práce na tomto textu vznikl jednoduchý pohyblivý stojánek na fotoaparát, určený k natáčení videa z modelu letadla.

Prvním bodem zadání bylo prostudovat způsob řízení modelářských serv a možnosti jejich ovládání počítačem. To jsem provedl podrobným průzkumem různých serv a studiem literatury a modelářských časopisů, které o tom pojednávají. Možnosti ovládání serv počítačem jsem vyzkoušel i při tvorbě vlastního zařízení, kdy je možné stojánkem pohybovat i pomocí aplikace v počítači. Zbývající body zadání se zabývaly návrhem, implementací a vyzkoušením vlastního zařízení, využívajícího modelářská serva. To jsem splnil vytvořením již zmíněného stojánku pro kameru. Dále jsem měl také diskutovat dosažené výsledky a možnosti pokračování práce, což je splněno na konci předchozí kapitoly.

Díky této práci jsem se dozvěděl něco blíže o tom jak serva fungují a jak je možné je ovládat jinak, než pomocí modelářského přijímače. Do té doby jsem věděl jenom jak je nainstalovat do modelu a že do serva jde nějaký signál a to se potom hýbe. Dále jsem si mohl vytvořit stojánek pro natáčení videa z modelu, což jsem už delší dobu plánoval a díky této bakalářské práci jsem se k tomu konečně odhodlal.

V práci bych chtěl do budoucna pokračovat ve vývoji nové, lepší mechaniky zařízení, což ale příliš nesouvisí s oborem mé vysoké školy, ale spíše s mým koníčkem. Aplikace pro počítač by se dala též ještě rozšířit a vylepšit. Také by nebylo špatné doplnit automatickou stabilizaci pomocí gyroskopu.

# Literatura

- [1] KOUTNÝ, Lubomír. *Modely letadel s gumovým pohonem*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2003, 136 s. Modelářství. ISBN 80-251-0042-1.
- [2] LNĚNIČKA, Jaroslav. *O modelech letadel*. Hradec Králové: Aeromodel, 2004. ISBN 978-802-3951-639.
- [3] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- [4] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2001, II, č. 2. ISSN 1213-130X.
- [5] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2001, II, č. 3. ISSN 1213-130X.
- [6] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2001, II, č. 4. ISSN 1213-130X.
- [7] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2001, II, č. 9. ISSN 1213-130X.
- [8] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2007, VIII, č. 10. ISSN 1213-130X.
- [9] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2008, IX, č. 1. ISSN 1213-130X.
- [10] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2008, IX, č. 5. ISSN 1213-130X.
- [11] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2008, IX, č. 6. ISSN 1213-130X.
- [12] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2008, IX, č. 7. ISSN 1213-130X.
- [13] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2008, IX, č. 12. ISSN 1213-130X.
- [14] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2009, X, č. 9. ISSN 1213-130X.
- [15] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2009, X, č. 12. ISSN 1213-130X.
- [16] *RCR: Radio Control Revue*. Praha: RCR, 2011, XII, č. 12. ISSN 1213-130X.
- [17] *Arduino* [online]. 2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/>
- [18] *DJI* [online]. 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.dji.com/>
- [19] HITEC RCD USA. *Hitec* [online]. 2013 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://hitecrcd.com/>
- [20] *Pelikan Daniel* [online]. 2014 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.pelikandaniel.com/>



# Seznam příloh

Příloha 1. CD se zdrojovými texty, počítačovým modelem mechaniky zařízení a s tímto textem